REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/06/2026 - **Accepted:** 05/08/2026
Vol: 13.18 - August
DOI: 10.66104/7yb18x50
Pages: 1-30

DÉFICIT HÍDRICO EM ABOBRINHA (*CUCURBITA PEPO* L.): RESPOSTAS FISIOLÓGICAS E ESTRATÉGIAS DE MANEJO PARA REGIÕES SEMIÁRIDAS

WATER DEFICIT IN ZUCCHINI (*CUCURBITA PEPO* L.): PHYSIOLOGICAL RESPONSES AND MANAGEMENT STRATEGIES FOR SEMI-ARID REGIONS

DÉFICIT HÍDRICO EN CALABACÍN (*CUCURBITA PEPO* L.): RESPUESTAS FISIOLÓGICAS Y ESTRATEGIAS DE MANEJO PARA REGIONES SEMIÁRIDAS

Mirelle de Almeida Rabelo
Mestre em Ciências Ambientais, UNIMONTES, Brasil
E-mail: mirellerabello@gmail.com

Silvânio Rodrigues dos Santos
Doutor em Engenharia Agrícola, Unimontes, Brasil
E-mail: silvanio.santos@unimontes.br

Bruno Amorim Silveira
Mestre em Ciências Ambientais, IFNMG, Brasil
E-mail: brunnobiologo@gmail.com

Resumo

O déficit hídrico constitui um dos principais fatores limitantes à produtividade da abobrinha (*Cucurbita pepo* L.), especialmente em regiões semiáridas, onde a disponibilidade de água é reduzida e as condições climáticas intensificam os efeitos do estresse sobre as plantas. Este estudo teve como objetivo analisar as respostas fisiológicas da abobrinha ao déficit hídrico e identificar estratégias de manejo voltadas à redução dos seus efeitos. Para isso, foi realizada uma revisão integrativa da literatura, com buscas nas bases Scopus, Web of Science, ScienceDirect e SciELO, abrangendo publicações entre 2010 e 2025. Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, foram selecionados estudos relacionados às respostas fisiológicas, bioquímicas, morfoanatômicas e moleculares da cultura sob restrição hídrica. Os resultados demonstraram que o déficit hídrico reduz o conteúdo relativo de água, a condutância estomática, a transpiração e a atividade fotossintética, além de intensificar o estresse oxidativo e comprometer o crescimento e a produtividade. Em contrapartida, mecanismos como ajuste osmótico, ativação de sistemas antioxidantes e regulação hormonal mediada pelo ácido abscísico contribuem para a tolerância ao estresse. Entre as estratégias de redução dos danos, destacam-se o manejo racional da irrigação, o uso de bioinsumos e condicionadores fisiológicos, bem como a seleção de genótipos mais tolerantes. A adoção conjunta dessas práticas pode contribuir para o uso mais eficiente da água e para a manutenção da produtividade da cultura em regiões semiáridas.

Palavras-chave: Semiárido; Eficiência do uso da água; Estresse oxidativo; Ajuste osmótico; Tolerância à seca.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/06/2026 - **Accepted:** 05/08/2026
Vol: 13.18 - August
DOI: 10.66104/7yb18x50
Pages: 1-30

Abstract

Water deficit is one of the main factors limiting zucchini (*Cucurbita pepo* L.) production, particularly in semi-arid regions where water availability is restricted and climatic conditions intensify plant stress. This study aimed to analyze the physiological responses of zucchini to water deficit and to identify management strategies for mitigating its effects. An integrative literature review was conducted using publications indexed in the Scopus, Web of Science, ScienceDirect, and SciELO databases between 2010 and 2025. After applying inclusion and exclusion criteria, studies addressing the physiological, biochemical, morphoanatomical, and molecular responses of zucchini under water-limited conditions were selected. The findings showed that water deficit reduces relative water content, stomatal conductance, transpiration, and photosynthetic activity, while increasing oxidative stress and negatively affecting plant growth and productivity. Conversely, osmotic adjustment, antioxidant defense mechanisms, and abscisic acid-mediated hormonal regulation were identified as key processes involved in drought tolerance. The combined adoption of these practices can contribute to more efficient water use and the maintenance of crop productivity in semi-arid regions.

Keywords: semi-arid regions; water-use efficiency; oxidative stress; osmotic adjustment; drought tolerance.

Resumen

El déficit hídrico constituye uno de los principales factores limitantes para la producción de calabacín (*Cucurbita pepo* L.), especialmente en regiones semiáridas, donde la disponibilidad de agua es reducida y las condiciones climáticas intensifican los efectos del estrés sobre las plantas. El presente estudio tuvo como objetivo analizar las respuestas fisiológicas del calabacín al déficit hídrico e identificar estrategias de manejo orientadas a mitigar sus efectos. Se realizó una revisión integradora de la literatura a partir de publicaciones indexadas en las bases de datos Scopus, Web of Science, ScienceDirect y SciELO entre 2010 y 2025. Tras la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión, se seleccionaron estudios relacionados con las respuestas fisiológicas, bioquímicas, morfoanatómicas y moleculares del cultivo bajo condiciones de restricción hídrica. Los resultados mostraron que el déficit hídrico reduce el contenido relativo de agua, la conductancia estomática, la transpiración y la actividad fotosintética, además de intensificar el estrés oxidativo y comprometer el crecimiento y la productividad. Por otro lado, el ajuste osmótico, los sistemas antioxidantes y la regulación hormonal mediada por el ácido abscísico fueron identificados como mecanismos fundamentales de tolerancia. La adopción conjunta de estas prácticas puede contribuir a un uso más eficiente del agua y al mantenimiento de la productividad de los cultivos en las regiones semiáridas.

Palabras clave: regiones semiáridas; eficiencia en el uso del agua; estrés oxidativo; ajuste osmótico; tolerancia a la sequía.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/06/2026 - **Accepted:** 05/08/2026
Vol: 13.18 - August
DOI: 10.66104/7yb18x50
Pages: 1-30

1. Introdução

Entre as hortaliças de maior importância para a horticultura brasileira, a abobrinha (*Cucurbita pepo* L.) destaca-se em função do seu rápido ciclo de cultivo, alto potencial produtivo e adaptação a diferentes sistemas de produção. Essas características, associadas à crescente demanda do mercado consumidor, têm impulsionado sua expansão em diversas regiões, desde a agricultura familiar até sistemas intensivos de cultivo de alta tecnologia, desempenhando papel importante na diversificação da horticultura e na geração de renda. (Azevedo *et al*., 2018; Filgueira, 2013; Sediyama *et al*., 2016;).

Devido à sua capacidade de adaptação a diferentes condições ambientais, a abobrinha é cultivada em diversas regiões brasileiras, incluindo áreas semiáridas, onde a elevada incidência de radiação solar e as altas temperaturas favorecem seu desenvolvimento ao longo de grande parte do ano (Embrapa, 2021; Filgueira, 2013). No entanto, apesar desse potencial produtivo, o cultivo nessas regiões é frequentemente limitado pela irregularidade das precipitações e pela elevada demanda evaporativa atmosférica, fatores que tornam a irrigação essencial para a obtenção de rendimentos satisfatórios.

Nesse contexto, em regiões semiáridas a limitação hídrica constitui um dos principais fatores responsáveis pela redução do crescimento e da produtividade das culturas agrícolas. A baixa disponibilidade de água no solo compromete processos fisiológicos essenciais ao desenvolvimento vegetal, afetando o balanço hídrico, as trocas gasosas e a atividade fotossintética (Azab *et al*., 2022; Sousa *et al*., 2022). Em espécies olerícolas, como a abobrinha (*Cucurbita pepo* L.), esses efeitos podem resultar em alterações no crescimento vegetativo, na produção de biomassa e na produtividade da cultura, tornando o déficit hídrico um dos principais fatores limitantes ao desempenho agronômico e ao potencial produtivo das plantas (Ozer; Ahi, 2020).

Além das respostas fisiológicas primárias, a restrição hídrica desencadeia mecanismos bioquímicos e moleculares relacionados à adaptação das plantas às

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/06/2026 - **Accepted:** 05/08/2026
Vol: 13.18 - August
DOI: 10.66104/7yb18x50
Pages: 1-30

condições adversas, incluindo o acúmulo de solutos compatíveis, a ativação do sistema antioxidante e a regulação hormonal mediada pelo ácido abscísico (ABA) (Azab *et al*., 2022; Biareh *et al*., 2022). Estudos recentes também têm demonstrado a participação de genes associados à tolerância ao estresse hídrico em *Cucurbita pepo (Azab et al., 2022; Xu; Wang, 2025)*, evidenciando a complexidade dos mecanismos envolvidos na adaptação da cultura à limitação de água.

O avanço do conhecimento sobre esses mecanismos tem contribuído para o desenvolvimento de estratégias capazes de aumentar a eficiência do uso da água e reduzir os efeitos do déficit hídrico sobre a produtividade agrícola. Nesse sentido, diferentes práticas de manejo vêm sendo adotadas, destacando-se a irrigação deficitária controlada, o uso de coberturas do solo, a aplicação de bioinsumos e a seleção de genótipos mais tolerantes ao estresse hídrico (Azab *et al*., 2022; Azevedo *et al.*, 2018; Ozer e Ahi, 2020; Seymen *et al*., 2023).

Desse modo, considerando a crescente pressão sobre os recursos hídricos em regiões semiáridas, compreender as respostas fisiológicas da abobrinha à restrição de água é fundamental para desenvolver estratégias de manejo mais eficientes e compatíveis com as condições ambientais desses sistemas produtivos. Assim, o presente estudo teve como objetivo analisar as principais respostas fisiológicas de *Cucurbita pepo* ao estresse hídrico, bem como discutir estratégias de manejo voltadas à produção da cultura em ambientes semiáridos.

2. Metodologia

A pesquisa foi desenvolvida por meio de uma revisão integrativa da literatura, conforme a abordagem proposta por Souza, Silva e Carvalho (2010), que permite reunir e sintetizar o conhecimento científico disponível sobre determinado tema. Nesse sentido, buscou-se analisar estudos relacionados ao estresse hídrico e às respostas fisiológicas da abobrinha (*Cucurbita pepo* L.), bem como suas implicações para o manejo agrícola em condições de semiárido.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/06/2026 - **Accepted:** 05/08/2026
Vol: 13.18 - August
DOI: 10.66104/7yb18x50
Pages: 1-30

A revisão foi conduzida a partir da seguinte questão norteadora: “quais são as respostas fisiológicas da abobrinha ao estresse hídrico e de que forma essas respostas podem subsidiar estratégias de manejo em regiões semiáridas?”. A partir dessa definição, foi realizada uma busca sistematizada nas bases de dados Scopus, Web of Science, ScienceDirect e SciELO entre abril e junho de 2026. Para o levantamento bibliográfico, foram utilizados descritores em português e inglês, combinados por meio dos operadores booleanos “AND” e “OR”, visando ampliar a abrangência e a especificidade das buscas. Os descritores foram combinados por meio dos operadores booleanos AND e OR, sendo as estratégias de busca adaptadas à sintaxe e aos mecanismos de indexação específicos de cada base de dados. Os descritores utilizados nas estratégias de busca foram organizados por eixos temáticos, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1: Descritores utilizados nas estratégias de busca, organizados por eixos temáticos.

Eixo temático	Descritores em português	Descritores em inglês	Operadores
Cultura	“abobrinha”; “*Cucurbita pepo*”	“zucchini”; “*Cucurbita pepo*”	**AND** (entre eixos temáticos) **OR** (entre sinônimos)
Estresse hídrico	“estresse hídrico”; “déficit hídrico”	“water stress”; “drought stress”	
Respostas fisiológicas	“fisiologia vegetal”; “trocas gasosas”; “fotossíntese”	“plant physiology”; “gas exchange”; “photosynthesis”	
Semiárido	“semiárido”; “irrigação”	“semi-arid”; “irrigation”	
Manejo agrícola	“manejo hídrico”; “eficiência do uso da água”	“water management”; “water use efficiency”	

Fonte: elaborado pelos autores

Foram considerados estudos publicados entre 2010 e 2025, nos idiomas português e inglês, priorizando artigos científicos originais publicados em

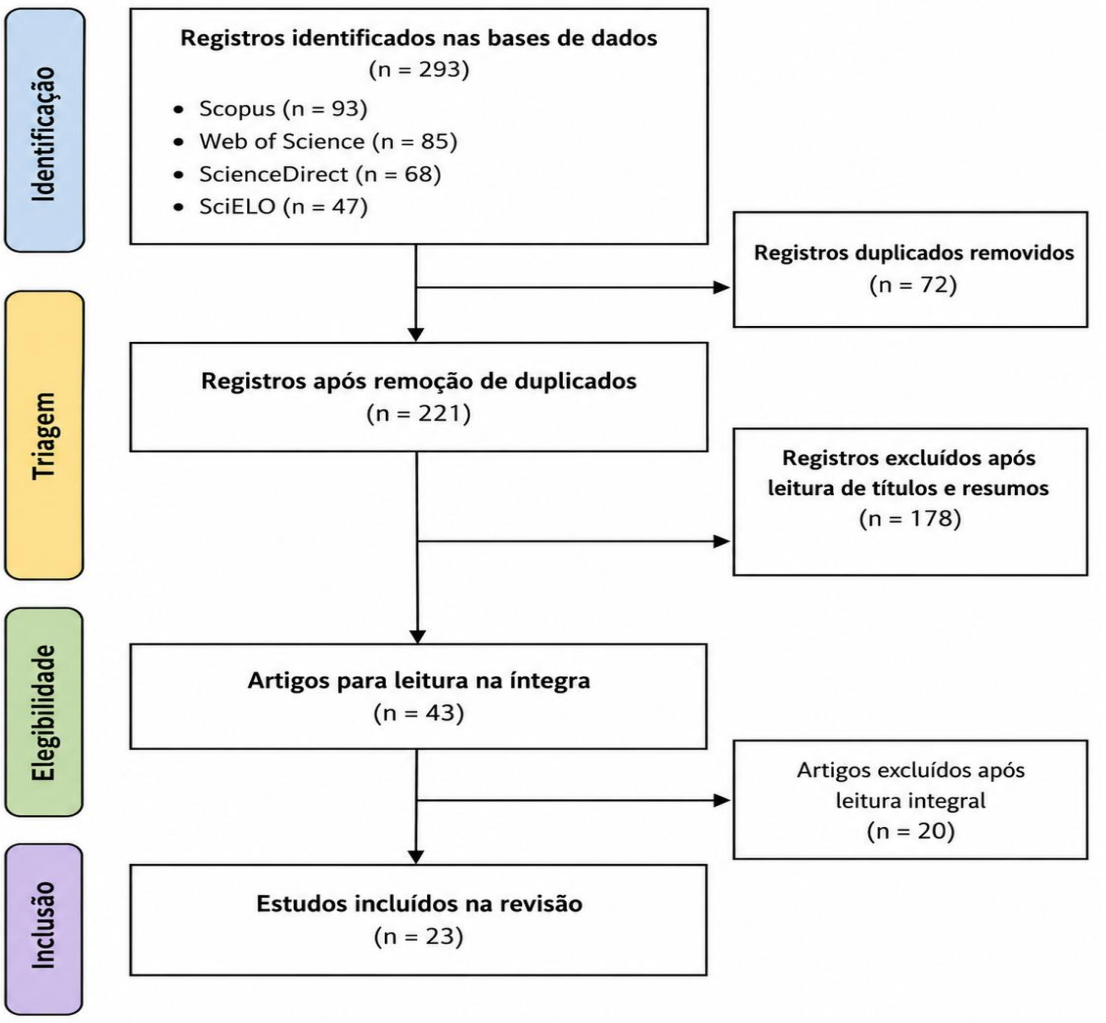
REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/06/2026 - **Accepted:** 05/08/2026
Vol: 13.18 - August
DOI: 10.66104/7yb18x50
Pages: 1-30

periódicos revisados por pares. Foram incluídos estudos relacionados ao estresse hídrico e às respostas fisiológicas em *Cucurbita pepo* L. Além disso, quando relevantes para a discussão, também foram considerados trabalhos envolvendo outras condições de estresse.

Foram excluídos estudos duplicados entre as bases consultadas, dissertações, teses, capítulos de livros, resumos de eventos científicos e trabalhos sem relação direta com a temática proposta. A seleção dos estudos ocorreu em etapas sequenciais, iniciando-se pela leitura dos títulos, seguida da análise dos resumos e, posteriormente, da leitura integral dos artigos considerados potencialmente relevantes. Todo o processo de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos foi organizado conforme fluxograma adaptado do modelo PRISMA (Figura 1).

Figura 1 – Fluxograma do processo de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos.



Fonte: Adaptado de Page et al. (2021)

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/06/2026 - **Accepted:** 05/08/2026
Vol: 13.18 - August
DOI: 10.66104/7yb18x50
Pages: 1-30

Os artigos incluídos na revisão foram analisados de forma qualitativa, considerando aspectos como objetivos, metodologia empregada, variáveis fisiológicas avaliadas e principais resultados observados. As informações obtidas foram organizadas de maneira comparativa, permitindo a síntese do conhecimento disponível e a identificação de padrões de resposta da cultura ao estresse hídrico, além de lacunas ainda existentes na literatura, especialmente em condições semiáridas.

Embora a amostra final da revisão tenha sido composta por 23 artigos elegíveis, referências complementares, como livros, documentos técnicos e relatórios institucionais, também foram utilizadas para contextualização e fundamentação de aspectos específicos relacionados à metodologia do trabalho, a cultura estudada e às mudanças climáticas. A caracterização dos estudos incluídos na revisão é apresentada no Quadro 2.

Quadro 2. Caracterização dos artigos incluídos na revisão

Autor/Ano	Espécie	Condição experimental	Tipo de estresse	Variáveis avaliadas	Principais achados
Abd El-Mageed *et al*. (2017)	*Cucurbita pepo* L.	Irrigação deficitária com extrato de Moringa	Déficit hídrico	Eficiência do uso da água, crescimento e fisiologia	Extrato de moringa atenuou os efeitos do déficit hídrico e aumentou a eficiência do uso da água.
Al-Bajalan *et al*. (2025)	*Cucurbita pepo* L.	Aplicação de selênio e cálcio	Déficit hídrico	Crescimento e qualidade de sementes	Selênio e cálcio contribuíram para manutenção do crescimento e qualidade das sementes.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/06/2026 - **Accepted:** 05/08/2026
Vol: 13.18 - August
DOI: 10.66104/7yb18x50
Pages: 1-30

Alzoheiry e Al-Moshileh	*Cucurbita pepo* L.	Sistemas de irrigação e cobertura do solo	Déficit hídrico	Produtividade e uso da água	A combinação entre manejo da irrigação e cobertura do solo aumentou a produtividade e a eficiência do uso da água em ambiente semiárido.
Azab *et al*. (2022)	*Cucurbita pepo* L.	Silicato de potássio sob diferentes regimes hídricos	Déficit hídrico	Características fisiológicas, anatômicas e agronômicas	Silicato reduziu os efeitos negativos do estresse hídrico.
Azevedo *et al*. (2018)	*Cucurbita pepo* L.	Diferentes lâminas de irrigação	Déficit hídrico	Produtividade e fator de resposta	Redução da disponibilidade hídrica diminuiu a produtividade.
Biareh *et al*. (2022)	*Cucurbita pepo* L.	Ácido salicílico em ambiente controlado	Déficit hídrico	Respostas fisiológicas e qualitativas	Ácido salicílico favoreceu mecanismos de tolerância.
Dantas *et al.* (2017)	*Cucurbita pepo* L.	Aumento de temperatura e CO_2 no semiárido	Estresse climático	Desenvolvimento inicial	O aumento da temperatura exerceu maior influência sobre o desenvolvimento inicial das plantas do que a elevação da concentração de CO_2.
Iglesias-Moya *et al*. (2025)	*Cucurbita pepo* L.	Mutante insensível ao ABA	Déficit hídrico	Germinação e fechamento estomático	Demonstrou o envolvimento da sinalização mediada por ABA na germinação, no fechamento estomático e na tolerância ao déficit hídrico.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/06/2026 - **Accepted:** 05/08/2026
Vol: 13.18 - August
DOI: 10.66104/7yb18x50
Pages: 1-30

Lacerda *et al*. (2024)	*Cucurbita pepo* L.	Paclobutrazol sob salinidade	Salinidade	Crescimento e fisiologia	Paclobutrazol reduziu impactos negativos da salinidade.
Martim *et al*. (2018)	*Cucurbita pepo* L.	Diferentes condições de cultivo	Déficit hídrico	Evapotranspiração e rendimento	Disponibilidade hídrica influenciou evapotranspiração e produtividade.
Mousavizadeh-Fashian *et al*. (2024)	*Cucurbita pepo* L.	Selênio e ácido salicílico	Déficit hídrico	Características fisiológicas	Compostos mitigaram parcialmente o estresse.
Munir *et al*. (2024)	*Cucurbita pepo* L.	Biochar de diferentes matérias-primas	Déficit hídrico	Crescimento e fisiologia	Biochar aumentou retenção de água e desempenho vegetal.
Ozer e Ahi (2020)	*Cucurbita pepo* L.	Irrigação por gotejamento	Déficit hídrico	Índice de estresse hídrico	Indicador mostrou potencial para monitoramento em campo.
Rouini *et al*. (2025)	*Cucurbita pepo* L.	Sistema agrivoltaico	Déficit hídrico associado ao sombreamento	Fotossíntese e eficiência do uso da água	Sombreamento aumentou assimilação de carbono e eficiência hídrica.
Safahani Langeroodi *et al*. (2019)	*Cucurbita pepo* L.	Biochar sob irrigação reduzida	Déficit hídrico	Produtividade e fisiologia	Biochar favoreceu crescimento e produtividade.
Salim *et al*. (2021)	*Cucurbita pepo* L.	Aplicação foliar de silício	Déficit hídrico	Antioxidantes, crescimento e rendimento	Silício aumentou a tolerância ao estresse.
Seymen *et al*. (2020)	*Cucurbita pepo* L.	Linhagens sob restrição hídrica	Déficit hídrico	Produção de sementes, óleo e minerais	Variabilidade genotípica na resposta ao estresse.
Seymen *et al*. (2023)	*Cucurbita pepo* L.	Avaliação de genótipos	Déficit hídrico	Índices de tolerância	Identificação de genótipos promissores.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/06/2026 - **Accepted:** 05/08/2026
Vol: 13.18 - August
DOI: 10.66104/7yb18x50
Pages: 1-30

Sousa *et al.* (2022)	*Cucurbita pepo* L.	Salinidade associada à restrição hídrica	Déficit hídrico e salinidade	Trocas gasosas e crescimento	Estresse combinado intensificou os danos fisiológicos
Ucak *et al.* (2024)	*Cucurbita pepo* L.	Alta temperatura e baixa umidade	Estresse térmico e hídrico	Índice de estresse hídrico	Temperaturas elevadas potencializaram o estresse.
Unlukara, Yetişir e Cebeci (2021)	*Cucurbita pepo* L.	Captação de água da chuva	Déficit hídrico	Produção de sementes	Estratégia promissora para regiões semiáridas.
Xu e Wang (2025)	*Cucurbita pepo* L.	Análise molecular	Déficit hídrico e salinidade	Expressão gênica	O estudo identificou o envolvimento do gene CpWRKY51 em vias de sinalização associadas à resposta ao estresse hídrico e salino
Yildirim *et al.* (2021)	*Cucurbita pepo* L.	PGPR e metilamina sintética	Déficit hídrico	Produtividade e eficiência hídrica	Tratamentos aumentaram a eficiência do uso da água.

Fonte: elaborado pelos autores

A análise dos estudos apresentados no Quadro 2 permitiu verificar que os dados disponíveis sobre as respostas de *Cucurbita pepo* L. ao déficit hídrico são provenientes, predominantemente, de pesquisas experimentais conduzidas sob diferentes condições de cultivo, com aplicação controlada dos tratamentos e utilização de métodos estatísticos adequados à comparação dos resultados. Observou-se, entretanto, considerável heterogeneidade entre os trabalhos quanto à intensidade do estresse imposto, às condições ambientais de condução dos experimentos, aos estádios fenológicos avaliados e às variáveis analisadas, abrangendo desde parâmetros agronômicos e fisiológicos até aspectos bioquímicos e moleculares. Além disso, parte dos estudos investigou o efeito

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/06/2026 - **Accepted:** 05/08/2026
Vol: 13.18 - August
DOI: 10.66104/7yb18x50
Pages: 1-30

combinado do déficit hídrico com outros fatores de estresse, como salinidade e temperatura elevada, o que amplia a compreensão das respostas da cultura, mas limita comparações diretas entre os resultados. Apesar dessas diferenças metodológicas, os estudos apresentaram convergência quanto aos efeitos negativos da restrição hídrica sobre o crescimento, as trocas gasosas e a produtividade, bem como quanto ao potencial de estratégias de manejo e mitigação para reduzir seus impactos, conferindo consistência ao conjunto das evidências analisadas.

3. Revisão da Literatura

3.1 A cultura da abobrinha (*Cucurbita pepo* L.) no contexto do semiárido

A abobrinha (*Cucurbita pepo* L.) é uma espécie herbácea anual da família Cucurbitaceae, amplamente cultivada em diferentes regiões do mundo. É uma das hortaliças de maior relevância econômica em regiões tropicais e subtropicais. No Brasil, essa família integra um grupo de grande importância agrícola, como abóbora (*Cucurbita moschata*), pepino (*Cucumis sativus*), melancia (*Citrullus lanatus*) e chuchu (*Sechium edule*) (Filgueira, 2013). A espécie destaca-se pelo ciclo fenológico curto, alta produtividade, expressiva aceitação comercial e rápido retorno econômico, além de apresentar relevância na olericultura pelo valor nutricional, fornecendo fibras, minerais e vitaminas, com destaque para carotenoides precursores de vitamina A (Martim *et al*., 2018). No país, a cultura apresenta ampla distribuição, sobretudo em áreas de horticultura irrigada, onde a produção ao longo do ano atende à demanda contínua do mercado consumidor. A cultura também contribui para a diversificação produtiva e geração de renda, especialmente em pequenas propriedades rurais.

Em regiões semiáridas, o desempenho da abobrinha é limitado por condições climáticas adversas. (Unlukara *et al*, 2021). A irregularidade das chuvas,

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/06/2026 - **Accepted:** 05/08/2026
Vol: 13.18 - August
DOI: 10.66104/7yb18x50
Pages: 1-30

associada às elevadas temperaturas e à intensa radiação solar, intensifica a demanda evaporativa e limita a disponibilidade de água para as plantas. (Dantas *et al*., 2017). Nessas condições, a irrigação é indispensável para viabilizar a produção. Entretanto, em muitas regiões semiáridas, a disponibilidade de água de boa qualidade é limitada, o que frequentemente leva à utilização de fontes com maiores concentrações de sais. Como consequência, o uso contínuo dessas águas pode favorecer o acúmulo de sais no solo ao longo do tempo, intensificando processos de salinização (Lacerda *et al*., 2024).

A associação entre déficit hídrico e salinidade restringe o crescimento e o metabolismo da cultura. A redução do potencial osmótico do solo dificulta a absorção de água e nutrientes, afetando processos fisiológicos essenciais (Sousa *et al.,* 2022). A espécie apresenta sistema radicular superficial e elevada taxa transpiratória, o que aumenta sua sensibilidade ao estresse, principalmente nas fases de crescimento vegetativo e frutificação (Biareh *et al*., 2022). Do ponto de vista fisiológico, a restrição hídrica associada à presença de sais na água de irrigação compromete o balanço hídrico celular, a condutância estomática e a taxa fotossintética. O fechamento estomático, como resposta inicial ao estresse, reduz a assimilação de carbono e contribui para o aumento da temperatura foliar (Dantas *et al*., 2017). Em consequência, observa-se redução da área foliar, da biomassa e da atividade fotossintética, com reflexos diretos sobre o rendimento das plantas. Esses efeitos tendem a ser mais intensos quando a limitação de água ocorre concomitantemente com o aumento da concentração salina na solução do solo, o que potencializa o desequilíbrio osmótico e fisiológico (Lacerda *et al*., 2024; Sousa *et al*., 2022).

3.2 Respostas da abobrinha ao déficit hídrico

O déficit hídrico está entre os principais fatores limitantes da produção agrícola em regiões semiáridas, comprometendo processos fisiológicos essenciais e reduzindo o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das culturas.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/06/2026 - **Accepted:** 05/08/2026
Vol: 13.18 - August
DOI: 10.66104/7yb18x50
Pages: 1-30

(Ncama *et al*., 2024). Em hortaliças os efeitos são ainda mais intensos devido à alta demanda hídrica e à rápida taxa de crescimento das espécies, de modo que pequenas reduções na disponibilidade de água já são suficientes para comprometer processos fisiológicos essenciais (Azab *et al*., 2022).

Na abobrinha (*Cucurbita pepo* L.), essa redução de água afeta diversos processos voltados à manutenção do equilíbrio hídrico e da atividade metabólica (Al-Bajalan *et al*., 2025). Como forma de adaptação, a cultura desenvolve mecanismos que buscam reduzir as perdas de água e manter o metabolismo ativo sob condições adversas. A forma como a planta responde ao déficit hídrico depende de diferentes fatores, como a intensidade e a duração do estresse, o estádio de desenvolvimento da cultura e as condições ambientais (Sousa *et al*., 2022). Em regiões semiáridas, a ocorrência de altas temperaturas, elevada demanda evaporativa e irregularidade das chuvas tende a intensificar os efeitos da restrição hídrica, aumentando os desafios.

Em condições de campo, níveis de umidade correspondentes a 40–60% da capacidade de campo ou da evapotranspiração da cultura provocam reduções acentuadas no comprimento de plantas, número de folhas, biomassa fresca e seca e número de flores (Azevedo *et al*., 2018), refletindo forte sensibilidade da espécie à limitação de água em diferentes fases do ciclo. Em cucurbitáceas cultivadas sob 50% da capacidade de campo, são observadas quedas severas na biomassa de parte aérea e raízes, no conteúdo relativo de água e na estabilidade de membranas, indicando que déficits mais intensos ultrapassam a capacidade de ajuste fisiológico e estrutural das plantas. Nessas situações, a produtividade pode ser reduzida em mais de 50%, a depender do estádio em que o estresse ocorre, ainda que práticas de manejo atenuantes sejam empregadas (Azevedo *et al*., 2018; Martim *et al*., 2018).

Por outro lado, estratégias de irrigação deficitária controlada, com lâminas em torno de 75–80% da capacidade de campo ou da evapotranspiração, têm se mostrado viáveis para *C. pepo*, permitindo economia de água com reduções menos expressivas de crescimento e rendimento quando associadas a práticas

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/06/2026 - **Accepted:** 05/08/2026
Vol: 13.18 - August
DOI: 10.66104/7yb18x50
Pages: 1-30

complementares, como aplicação de bioestimulantes, antioxidantes e reguladores de crescimento (Abd El-Mageed *et al*., 2017; Azevedo *et al*., 2018).

Em sistemas de cultivo controlado de produção no semiárido, a eficiência do manejo da irrigação e as variações na qualidade da água constituem fatores críticos para a estabilidade fisiológica de cucurbitáceas sob condições de estresse hídrico (Azab *et al*., 2022). Diante desse contexto, a compreensão dos mecanismos fisiológicos desencadeados pela restrição hídrica em abobrinha é fundamental para o avanço de práticas de manejo mais eficientes e adaptadas às condições do semiárido. Nesse sentido, os tópicos seguintes abordam os principais impactos do déficit hídrico sobre a fisiologia da cultura.

3.2.1 Relações hídricas, trocas gasosas e fotossíntese

As relações hídricas constituem um dos primeiros e mais sensíveis sistemas fisiológicos afetados pelo déficit hídrico, uma vez que a redução da disponibilidade de água no solo desencadeia alterações imediatas no potencial hídrico da planta, na turgescência celular e no conteúdo relativo de água nos tecidos (Sousa *et al*., 2022). Em *Cucurbita pepo* L., essas alterações são acompanhadas por ajustes rápidos no controle estomático, com fechamento parcial ou total dos estômatos como mecanismo de contenção da perda de água por transpiração (Azab *et al*., 2022). Embora esse ajuste seja fundamental para a manutenção do status hídrico da planta, o fechamento estomático limita a entrada de CO_2 nos tecidos foliares, reduzindo a assimilação de carbono e impondo um equilíbrio entre a manutenção do status hídrico e a atividade fotossintética (Dantas et al., 2017).

Nesse contexto, o fechamento estomático promove redução significativa na condutância estomática e na taxa transpiratória, resultando em menor fluxo de água no sistema solo–planta–atmosfera. Como consequência indireta, ocorre também aumento da temperatura foliar, uma vez que a transpiração é o principal mecanismo de dissipação de calor latente nas folhas. Esse aumento térmico pode intensificar ainda mais as limitações fisiológicas, especialmente em ambientes de

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/06/2026 - **Accepted:** 05/08/2026
Vol: 13.18 - August
DOI: 10.66104/7yb18x50
Pages: 1-30

alta radiação e temperatura, como os semiáridos (Ucak *et al*., 2024). Estudos com abobrinha têm demonstrado que a restrição hídrica afeta de forma consistente variáveis-chave como condutância estomática, transpiração, assimilação líquida de CO_2 e conteúdo relativo de água, resultando em redução do desempenho fisiológico global da planta (Azab *et al*., 2022; Sousa *et al*., 2022). Esses efeitos refletem não apenas uma limitação hídrica, mas também um desequilíbrio funcional entre absorção, transporte e utilização da água no sistema vegetal.

A fotossíntese é um dos processos fisiológicos mais sensíveis à limitação de água. Em um primeiro momento, a redução da assimilação de carbono está relacionada principalmente ao fechamento estomático e à menor disponibilidade de CO_2 no interior das folhas; com a intensificação do estresse, ocorrem alterações no aparato fotossintético, incluindo redução de pigmentos e queda na eficiência dos fotossistemas, com menor produção de carboidratos e comprometimento do crescimento vegetativo e reprodutivo (Azab *et al*., 2022; Sousa *et al*., 2022).

Em ambientes semiáridos, a eficiência do uso da água (EUA) é um indicador chave da capacidade da planta em manter o desempenho sob restrição hídrica, por relacionar o carbono assimilado à água transpirada. Em cucurbitáceas e outras espécies cultivadas, déficits moderados podem elevar a EUA ao reduzir a transpiração de forma proporcionalmente maior que a assimilação de CO_2, sobretudo quando há manejo adequado da irrigação e das condições microclimáticas (Azevedo *et al*., 2018; Ozer e Ahi, 2020). Entretanto, sob estresse severo e prolongado, a queda acentuada da fotossíntese tende a reduzir a EUA em escala de dossel, mesmo com forte controle estomático. Dessa forma, a manutenção do status hídrico, da condutância estomática em níveis funcionais e da atividade fotossintética configura um dos principais determinantes da adaptação de *C. pepo* às condições de restrição hídrica em regiões semiáridas (Ozer e Ahi, 2020; Rouini *et al*., 2025).

3.2.2 Estresse oxidativo e ajuste osmótico

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/06/2026 - **Accepted:** 05/08/2026
Vol: 13.18 - August
DOI: 10.66104/7yb18x50
Pages: 1-30

Alterações metabólicas que favorecem a formação excessiva de espécies reativas de oxigênio (EROs), como ânion superóxido, peróxido de hidrogênio e radicais hidroxila, são promovidos pela restrição hídrica, resultando em estresse oxidativo e potenciais danos a membranas celulares, proteínas, pigmentos fotossintéticos e ácidos nucleicos (Biareh *et al*., 2022). Em *Cucurbita pepo*, o aumento dos níveis de peróxido de hidrogênio, malondialdeído e extravasamento de eletrólitos tem sido associado ao comprometimento da integridade celular sob condições de déficit hídrico (Azab *et al*., 2022). Para reduzir esses danos, as plantas ativam mecanismos de defesa antioxidante que auxiliam na preservação do funcionamento celular. Entre as principais respostas observadas em abobrinha submetida à restrição hídrica está o aumento da atividade de enzimas como superóxido dismutase, catalase, peroxidases e ascorbato peroxidase, frequentemente associado à menor acumulação de EROs e menor peroxidação lipídica (Biareh *et al*., 2022; Salim *et al*., 2021).

Paralelamente, antioxidantes não enzimáticos, como fenóis, flavonoides, carotenoides, ascorbato e glutationa, contribuem para a manutenção do estado redox e para a estabilização de membranas e complexos fotossintéticos (Salim *et al*., 2021). A capacidade de ajustar quantitativa e qualitativamente esse sistema antioxidante é apontada como um dos principais determinantes da tolerância à seca em diferentes genótipos (Seymen *et al*., 2023).

Outro mecanismo importante de adaptação ao déficit hídrico é o ajuste osmótico. Esse processo ocorre por meio do acúmulo de solutos compatíveis, capazes de auxiliar na retenção de água nos tecidos, reduzir o potencial osmótico e manter a turgescência celular sem interferir negativamente em reações metabólicas (Biareh *et al*., 2022). Entre os compostos orgânicos mais frequentemente relacionados a essa resposta destacam-se a prolina, os açúcares solúveis (glicose, sacarose, rafinose, trealose) e os aminoácidos livres, que também atuam na proteção de proteínas e membranas celulares (Salim *et al*., 2021). Em várias espécies cultivadas, o acúmulo de açúcares supera, em termos

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/06/2026 - **Accepted:** 05/08/2026
Vol: 13.18 - August
DOI: 10.66104/7yb18x50
Pages: 1-30

quantitativos, o de prolina, indicando papel central desses carboidratos no ajuste osmótico sob seca moderada a severa. Além dos osmólitos orgânicos, íons inorgânicos como K^+, Na^+ e Cl^- podem contribuir, de forma energeticamente mais econômica, para a redução do potencial osmótico em folhas e raízes. (Azab *et al*., 2022).

Estudos indicam que práticas como a aplicação de ácido salicílico, silício/silicato de potássio, potássio e biochar podem favorecer simultaneamente a atividade antioxidante e o ajuste osmótico, contribuindo para a manutenção do metabolismo vegetal sob condições de restrição hídrica (Biareh *et al*., 2022; Safahani Langeroodi *et al*., 2019). A aplicação de ácido salicílico e silício, isolados ou em combinação, tem sido associada à maior atividade de SOD, CAT, APX e POX, à redução de H_2O_2 e MDA e ao aumento de açúcares solúveis, aminoácidos e íons K^+ nas folhas, resultando em melhor conteúdo relativo de água, maior estabilidade de membranas e incremento de produtividade em condições de seca (Mousavizadeh-Fashian *et al*., 2024).

De forma semelhante, a aplicação de biochar, especialmente quando combinada com potássio, reduz a produção de EROs, o vazamento de eletrólitos e a peroxidação lipídica, ao mesmo tempo em que aumenta o teor de glutationa, a atividade de enzimas antioxidantes e os níveis de osmoprotetores, fortalecendo o balanço hídrico e o desempenho produtivo sob déficit (Munir *et al*., 2024). Em conjunto, a coordenação entre sistemas antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos, o acúmulo de osmólitos orgânicos e inorgânicos e o uso de insumos mitigadores, como ácido salicílico, silício/silicato e biochar, aumenta a capacidade de adaptação da cultura à limitação de água, reduzindo a extensão dos danos oxidativos e contribuindo para maior estabilidade fisiológica e produtiva em ambientes semiáridos (Azab *et al*., 2022; Biareh *et al*., 2022; Munir *et al*., 2024).

3.2.3 Bases fisiológicas, morfoanatômicas e moleculares da resposta ao déficit hídrico

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/06/2026 - **Accepted:** 05/08/2026
Vol: 13.18 - August
DOI: 10.66104/7yb18x50
Pages: 1-30

As alterações fisiológicas provocadas pelo déficit hídrico refletem-se diretamente no crescimento e no desempenho produtivo de *Cucurbita pepo.* Entre os efeitos mais frequentemente observados estão a redução da área foliar, da altura das plantas, da produção de biomassa e do desenvolvimento radicular, consequência da menor expansão celular e da redução da atividade fotossintética (Azab *et al*., 2022; Sousa *et al*., 2022). Resultados semelhantes têm sido descritos em cucurbitáceas e outras espécies, com queda acentuada no comprimento de brotos, massa fresca e seca de folhas e raízes, diâmetro de caule e número de ramos à medida que a umidade do solo é reduzida para 40–50% da capacidade de campo ou da evapotranspiração da cultura (Al-Bajalan e Kka, 2025).

Além dos efeitos sobre o crescimento, a limitação hídrica pode provocar modificações anatômicas em folhas, caules e raízes. Em *Cucurbita pepo,* a redução da disponibilidade de água está associada à diminuição da espessura do mesófilo, dos tecidos vasculares e de outras estruturas relacionadas ao transporte de água e assimilados, comprometendo a eficiência fisiológica e o crescimento das plantas (Azab *et al*., 2022). Em condições de seca progressiva, o número de vasos do xilema pode ser reduzido, limitando o fluxo de água e contribuindo para a queda do potencial hídrico, da turgescência e do crescimento (Salim *et al*., 2021).

Por outro lado, alguns ajustes morfoanatômicos podem atuar como mecanismos de tolerância. Em espécies submetidas a déficit recorrente, observam-se aumento da espessura da epiderme abaxial, maior espessura de periderme e modificações em feixes vasculares e tecidos de sustentação, além de maior proporção de raízes finas, o que favorece a exploração do solo e a redução da perda de água (Azab *et al*., 2022). Em abobrinha, a aplicação foliar de silicato de potássio atenua os efeitos do estresse hídrico, aumentando a espessura do periderme, córtex, mesófilo, nervura central e feixes vasculares, bem como o número de vasos de xilema, o que se traduz em maior altura de plantas, maior massa de raízes e parte aérea e incremento na produtividade de frutos mesmo sob irrigações de 50–75 % da ET (Salim *et al*., 2021).

Os impactos do déficit hídrico também alcançam a fase reprodutiva. Em *C.*

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/06/2026 - **Accepted:** 05/08/2026
Vol: 13.18 - August
DOI: 10.66104/7yb18x50
Pages: 1-30

pepo, a redução da umidade do solo diminui a emissão de flores, o peso e o tamanho das flores, o pegamento e o número de frutos, além de reduzir a produção de pólen e o número de sementes por fruto (Azevedo *et al*., 2018; Seymen *et al*., 2023). Estudos recentes demonstram ainda que os efeitos podem ser sexualmente dimórficos, com flores femininas apresentando maior abortamento, menor produção de néctar e maior redução de massa e tamanho em comparação às flores masculinas sob seca, o que contribui para queda da produção e da qualidade comercial dos frutos (Ozer; Ahi, 2020).

Em cucurbitáceas em geral, o estresse em fases como emissão de botões florais, florescimento e frutificação reduz o número de flores viáveis, o número de frutos por planta e a massa média dos frutos, com reflexos diretos na produtividade e na qualidade física e nutricional da colheita (Seymen *et al*., 2020). A intensidade dessas respostas varia de acordo com a duração e a severidade do estresse, além das condições ambientais e das características genéticas de cada cultivar (Seymen *et al*., 2020). Genótipos de *C. pepo* avaliados em condições irrigadas e de sequeiro apresentam ampla variação em rendimento de frutos, produção de sementes e qualidade, indicando potencial para seleção de materiais mais tolerantes à seca (Seymen *et al*., 2023).

A resposta de *Cucurbita pepo* ao déficit hídrico envolve não apenas ajustes fisiológicos e bioquímicos, mas também mecanismos hormonais e moleculares que regulam a percepção do estresse e a ativação de respostas adaptativas. Nesse contexto, o ácido abscísico (ABA) exerce papel central na regulação do balanço hídrico e na tolerância à restrição de água (Iglesias-Moya *et al*., 2025).

Sob déficit hídrico, ocorre aumento da biossíntese de ABA em raízes e folhas, com transporte até as células-guarda, onde ativa a via de sinalização PYR/PYL/RCAR–PP2C–SnRK2. Esse processo, resulta na fosforilação de proteínas envolvidas no controle de canais iônicos, no ajuste osmótico e na ativação de enzimas antioxidantes e fatores de transcrição associados à tolerância ao estresse, promovendo fechamento estomático e melhor eficiência no uso da água (Iglesias-Moya *et al*., 2025; Xu; Wang, 2025)

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/06/2026 - **Accepted:** 05/08/2026
Vol: 13.18 - August
DOI: 10.66104/7yb18x50
Pages: 1-30

Em *C. pepo*, alterações nessa via de sinalização podem modificar a capacidade adaptativa à limitação hídrica, influenciando o limiar de fechamento estomático, a transpiração e a eficiência do uso da água (Ucak *et al*., 2024). Além do ABA, fatores de transcrição da família WRKY também participam dessa resposta. O gene CpWRKY51 atua como regulador positivo da tolerância à seca e salinidade, cuja superexpressão reduz sintomas de murcha e o acúmulo de espécies reativas de oxigênio (EROs), além de aumentar a atividade de enzimas antioxidantes (Xu; Wang, 2025). Molecularmente, CpWRKY51 regula componentes da via do ABA ao se ligar ao promotor de CpPYL2, fortalecendo a sinalização PYR/PYL–PP2C–SnRK2 e coordenando a resposta antioxidante. A interação entre ABA e fatores de transcrição da família WRKY desempenha papel fundamental na resposta molecular de *C. pepo* ao déficit hídrico, evidenciando o potencial desses mecanismos para o desenvolvimento de cultivares mais tolerantes à seca.

3.3 Manejo da cultura sob condições de déficit hídrico

3.3.1 Manejo da irrigação e conservação da água no solo

O manejo adequado da irrigação é uma das principais estratégias para reduzir os impactos do déficit hídrico em *Cucurbita pepo*, especialmente em regiões semiáridas, onde a disponibilidade de água é limitada e as perdas por evaporação são elevadas (Alzoheiry *et al*., 2018). Nesses ambientes, a adoção de práticas que aumentem a eficiência do uso da água torna-se fundamental para a manutenção da produtividade e para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Entre as estratégias mais estudadas destaca-se a irrigação deficitária controlada, baseada na aplicação de lâminas inferiores à demanda hídrica total da cultura em períodos específicos do ciclo. Resultados obtidos por Azevedo *et al*. (2018), demonstram que a abobrinha apresenta certa tolerância a déficits moderados de irrigação, permitindo economia de água sem reduções proporcionais na

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/06/2026 - **Accepted:** 05/08/2026
Vol: 13.18 - August
DOI: 10.66104/7yb18x50
Pages: 1-30

produtividade. De forma semelhante, Ozer e Ahi (2020) verificaram que níveis moderados de reposição hídrica podem manter desempenho produtivo satisfatório e aumentar a eficiência do uso da água.

Além da definição das lâminas de irrigação, o monitoramento do estado hídrico das plantas é uma ferramenta importante para o manejo racional da água (Martim *et al*., 2018). Nesse contexto, o índice de estresse hídrico da cultura (Crop Water Stress Index – CWSI) tem sido utilizado para estimar o nível de estresse das plantas a partir da temperatura foliar. De acordo Ozer e Ahi (2020), o aumento dos valores de CWSI está associado à redução da produtividade, evidenciando sua utilidade como indicador para tomada de decisão no manejo da irrigação.

A eficiência do sistema de irrigação também influencia diretamente a disponibilidade de água para a cultura (Azevedo *et al*., 2018). Estudos conduzidos por Alzoheiry e Al-Moshileh (2018), demonstraram que a associação entre gotejamento e cobertura plástica do solo reduz as perdas por evaporação e melhora a eficiência do uso da água. Os autores observaram que o gotejamento subsuperficial combinado ao mulching apresentou desempenho superior quanto à conservação hídrica, constituindo uma alternativa promissora para regiões com escassez de água.

Entre as práticas voltadas à conservação da umidade do solo, o uso de biochar tem recebido atenção crescente. Além de aumentar a retenção de água, esse material melhora atributos físicos do solo, favorece a atividade microbiológica e contribui para a manutenção do crescimento vegetal sob condições de restrição hídrica (Safahani Langeroodi *et al*., 2019). Munir *et al*., (2024), observaram que a incorporação de biochar permitiu melhor desempenho fisiológico e produtivo de plantas cultivadas sob déficit hídrico, reduzindo os efeitos negativos do estresse sobre a cultura.

De forma geral, os estudos demonstram que a combinação entre irrigação racional, monitoramento do estado hídrico das plantas e práticas de conservação da água no solo representa uma abordagem eficiente para minimizar os efeitos do déficit hídrico em *Cucurbita pepo*. Essas estratégias contribuem para maior

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/06/2026 - **Accepted:** 05/08/2026
Vol: 13.18 - August
DOI: 10.66104/7yb18x50
Pages: 1-30

estabilidade produtiva e melhor aproveitamento da água, aspectos particularmente importantes para a produção agrícola em regiões semiáridas.

3.3.2 Uso de bioinsumos, bioestimulantes e condicionadores fisiológicos

O uso de bioinsumos e bioestimulantes tem se destacado como uma alternativa complementar para reduzir os efeitos do déficit hídrico em culturas agrícolas. Em *Cucurbita pepo*, diferentes compostos bioativos e microrganismos promotores de crescimento vegetal têm demonstrado potencial para melhorar o desempenho fisiológico das plantas e aumentar sua capacidade de adaptação a condições de restrição hídrica (Abd El-Mageed *et al*., 2017). Entre as estratégias mais estudadas destacam-se o ácido salicílico, o silício, as rizobactérias promotoras de crescimento vegetal (PGPR) e o biochar. Embora atuem por mecanismos distintos, esses insumos contribuem para a manutenção das relações hídricas, da atividade fotossintética e do equilíbrio metabólico das plantas sob estresse (Munir *et al*., 2024; Yildirim *et al*., 2021).

O ácido salicílico tem sido amplamente associado à indução de respostas de defesa e à ativação do sistema antioxidante. Em estudo conduzido por Biareh *et al*., (2022) sua aplicação reduziu indicadores de dano oxidativo, como peroxidação lipídica, extravasamento de eletrólitos e acúmulo de peróxido de hidrogênio, além de favorecer a atividade de enzimas antioxidantes. Os autores observaram ainda melhorias em parâmetros relacionados ao metabolismo de carboidratos e à estabilidade fisiológica das plantas submetidas ao déficit hídrico.

Resultados semelhantes foram relatados para o silício. Avaliando diferentes regimes de irrigação em abobrinha, Azab *et al*. (2022) verificaram que a aplicação foliar de silicato de potássio contribuiu para a manutenção dos pigmentos fotossintéticos, do conteúdo relativo de água e da atividade antioxidante, reduzindo os efeitos negativos da restrição hídrica sobre o crescimento e a produtividade. Além disso, foram observadas melhorias em características anatômicas associadas à maior resistência estrutural dos tecidos vegetais.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/06/2026 - **Accepted:** 05/08/2026
Vol: 13.18 - August
DOI: 10.66104/7yb18x50
Pages: 1-30

As rizobactérias promotoras de crescimento vegetal também têm apresentado resultados promissores em condições de déficit hídrico. Esses microrganismos favorecem o desenvolvimento radicular, a absorção de nutrientes e a produção de fitormônios, contribuindo para a manutenção das trocas gasosas, do conteúdo relativo de água e da eficiência do uso da água (Yildirim *et al*., 2021). Como consequência, plantas inoculadas tendem a apresentar melhor desempenho fisiológico e produtivo mesmo sob disponibilidade hídrica reduzida.

Outra estratégia que vem recebendo atenção crescente é o uso de biochar como condicionador do solo. Além de melhorar atributos físicos relacionados à retenção de água, esse material pode favorecer a absorção de nutrientes, a atividade microbiológica e a estabilidade fisiológica das plantas. Em *Cucurbita pepo* e outras cucurbitáceas, a aplicação de biochar tem sido associada à melhoria do desempenho fisiológico e produtivo sob condições de déficit hídrico, com redução de efeitos negativos relacionados ao estresse oxidativo. (Munir *et al*., 2024; Safahani *et al*., 2019).

De modo geral, os resultados disponíveis indicam que a utilização de bioinsumos, bioestimulantes e condicionadores fisiológicos pode complementar as estratégias convencionais de manejo da irrigação, contribuindo para maior eficiência no uso da água e maior estabilidade produtiva da cultura. Nesse contexto, a integração dessas tecnologias representa uma alternativa promissora para o fortalecimento da produção de *Cucurbita pepo* em ambientes sujeitos à limitação hídrica.

3.3.3 Melhoramento e seleção de genótipos tolerantes

Em regiões semiáridas, a limitada disponibilidade hídrica reforça a importância do melhoramento genético voltado à obtenção de genótipos mais tolerantes ao estresse, capazes de manter o desempenho produtivo sob condições de restrição de água. Em *Cucurbita pepo* L., a variabilidade genética existente entre cultivares e populações constitui uma importante fonte de características

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/06/2026 - **Accepted:** 05/08/2026
Vol: 13.18 - August
DOI: 10.66104/7yb18x50
Pages: 1-30

associadas à tolerância à seca, permitindo a seleção de materiais mais adaptados a ambientes com restrição hídrica (Seymen *et al.,* 2023).

A tolerância ao déficit hídrico em cucurbitáceas resulta da interação de diferentes mecanismos fisiológicos, bioquímicos e moleculares. Entre eles destacam-se a manutenção do estado hídrico dos tecidos, o controle da abertura estomática, a eficiência fotossintética, a capacidade antioxidante e a regulação de genes envolvidos na resposta ao estresse (Sousa *et al.,* 2022). Em função dessa natureza complexa, a seleção de genótipos tolerantes exige a avaliação conjunta de características agronômicas e fisiológicas (Azab *et al*., 2022).

Estudos recentes mostram alta variabilidade genética em *C. pepo* quanto à resposta à deficiência hídrica. Avaliando diferentes genótipos de abóbora comestível sob condições de estresse, Seymen *et al*. (2023) verificaram diferenças expressivas nos índices de tolerância baseados na produtividade de sementes. Alguns materiais apresentaram maior estabilidade produtiva e melhor desempenho sob restrição hídrica, demonstrando potencial para utilização em programas de melhoramento voltados a ambientes semiáridos.

Além da produtividade, características fisiológicas têm sido utilizadas como critérios complementares na identificação de materiais tolerantes (Sousa *et al*., 2022). A manutenção da atividade fotossintética, do conteúdo relativo de água, da integridade de membranas celulares e da eficiência do uso da água são frequentemente apontadas como indicadores importantes da capacidade adaptativa das plantas sob déficit hídrico (Azab *et al*., 2022).

Do mesmo modo, aos avanços na fenotipagem e os estudos de biologia molecular têm ampliado a compreensão dos mecanismos genéticos envolvidos na tolerância à seca em *C. pepo*. Entre as vias de resposta mais relevantes destaca-se a sinalização mediada pelo ácido abscísico (ABA) (Iglesias-Moya *et al.,* 2025)., hormônio responsável por regular o fechamento estomático, o ajuste osmótico e a ativação de genes relacionados à proteção celular durante períodos de limitação hídrica.

Nesse contexto, Iglesias-Moya *et al*. (2025) identificaram o gene CpPP2C-

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/06/2026 - **Accepted:** 05/08/2026
Vol: 13.18 - August
DOI: 10.66104/7yb18x50
Pages: 1-30

H1A como um importante regulador da resposta ao ABA em *C. pepo*. Plantas portadoras de mutações nesse gene apresentaram menor capacidade de fechamento estomático e maiores perdas de água sob estresse, evidenciando sua participação nos mecanismos de adaptação ao déficit hídrico. Os autores observaram ainda aumento da transpiração e da condutância estomática nos mutantes, indicando redução da eficiência no controle hídrico da planta.

Outro grupo de genes com participação relevante na tolerância à seca corresponde aos fatores de transcrição da família WRKY. Xu e Wang (2025) demonstraram que o gene CpWRKY51 atua positivamente na resposta ao déficit hídrico e à salinidade por meio da ativação da via de sinalização PYL–PP2C–SnRK2, uma das principais rotas reguladas pelo ABA. Segundo os autores, a ativação dessa via favorece o controle estomático, fortalece o sistema antioxidante e contribui para a manutenção da estabilidade fisiológica em condições adversas.

Os avanços obtidos na identificação de genes associados à tolerância à seca ampliam as possibilidades de aplicação de ferramentas biotecnológicas em programas de melhoramento. A integração entre fenotipagem fisiológica, seleção assistida por marcadores moleculares e estudos genômicos tem potencial para acelerar o desenvolvimento de cultivares mais eficientes no uso da água e mais adaptadas às condições do semiárido (Iglesias-Moya *et al.,* 2025; Xu; Wang, 2025).

Dessa forma, o desenvolvimento de cultivares tolerantes ao déficit hídrico depende de abordagens integradas que combinem avaliações fisiológicas, agronômicas e moleculares. Frente aos cenários de mudanças climáticas e crescente pressão sobre os recursos hídricos, a seleção de genótipos mais tolerantes constitui uma estratégia essencial para garantir a produtividade do cultivo de *Cucurbita pepo* em regiões semiáridas.

3.4 Lacunas científicas e perspectivas futuras

Apesar dos avanços obtidos na compreensão das respostas de *Cucurbita*

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/06/2026 - **Accepted:** 05/08/2026
Vol: 13.18 - August
DOI: 10.66104/7yb18x50
Pages: 1-30

pepo ao déficit hídrico, ainda existem lacunas importantes relacionadas à integração dos mecanismos fisiológicos, bioquímicos, moleculares e agronômicos envolvidos na tolerância ao estresse. Grande parte dos estudos concentra-se na avaliação isolada de variáveis específicas, como trocas gasosas, atividade antioxidante ou produtividade, dificultando uma compreensão mais abrangente das interações que determinam a adaptação da cultura à escassez de água (Azab *et al*., 2022; Biareh *et al*., 2022; Sousa *et al*., 2022).

Outra limitação refere-se à representatividade das condições experimentais adotadas. Muitos trabalhos são conduzidos em ambientes controlados e sob períodos relativamente curtos de estresse, não contemplando a complexidade dos sistemas produtivos encontrados em regiões semiáridas (Alzoheiry; Al-Moshileh, 2018; Azevedo *et al*., 2018; Martim *et al*., 2018; Ozer; Ahi, 2020). Fatores como altas temperaturas, elevada demanda evaporativa, radiação solar intensa e, frequentemente, a ocorrência simultânea de salinidade e déficit hídrico podem modificar significativamente as respostas das plantas. Desse modo, ainda são escassos os estudos realizados em condições de campo representativas do semiárido brasileiro.

O uso de bioinsumos, bioestimulantes, rizobactérias promotoras de crescimento vegetal e biochar tem demonstrado potencial para amenizar os efeitos da seca, contribuindo para a manutenção do crescimento, da atividade fotossintética e da eficiência do uso da água (Abd El-Mageed *et al*., 2017; Mousavizadeh-Fashian *et al.*, 2024; Munir *et al*., 2024; Safahani Langeroodi *et al*., 2019; Yildirim *et al*., 2021). Entretanto, os mecanismos fisiológicos e moleculares associados a essas respostas ainda não são completamente compreendidos, especialmente sob condições de estresses combinados. Assim, estudos que integrem microbiologia, fisiologia vegetal e bioquímica, podem ampliar o entendimento dessas interações e favorecer o desenvolvimento de estratégias mais eficientes para o manejo da cultura.

Complementarmente, os avanços recentes na identificação de genes associados à tolerância ao déficit hídrico, incluindo componentes das vias de

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/06/2026 - **Accepted:** 05/08/2026
Vol: 13.18 - August
DOI: 10.66104/7yb18x50
Pages: 1-30

sinalização mediadas pelo ácido abscísico (ABA) (Seymen *et al*., 2023), evidenciam o potencial do melhoramento genético para o desenvolvimento de cultivares mais adaptadas à restrição hídrica (Iglesias-Moya *et al*., 2025). No entanto, a aplicação prática dessas informações em programas de seleção ainda é limitada, reforçando a necessidade de integrar abordagens genômicas, fisiológicas e agronômicas na identificação de materiais superiores (Iglesias-Moya *et al*., 2025; Xu e Wang, 2025).

Essa necessidade torna-se ainda mais relevante diante dos cenários previstos de mudanças climáticas. As projeções climáticas indicam aumento da frequência e intensidade dos eventos de seca, associado à elevação das temperaturas e à maior irregularidade das chuvas em regiões semiáridas (IPCC, 2023). Além disso, estudos também apontam que essas alterações podem comprometer o estabelecimento e o desenvolvimento inicial de espécies do gênero *Cucurbita* em ambientes semiáridos brasileiros (Dantas et al., 2017), reforçando a importância de pesquisas voltadas ao desenvolvimento de genótipos mais tolerantes e ao aperfeiçoamento das estratégias de manejo adaptadas a essas condições.

4. Considerações Finais

A análise da literatura permitiu verificar que o déficit hídrico afeta diferentes aspectos do desenvolvimento da abobrinha, desencadeando respostas fisiológicas, bioquímicas e moleculares que contribuem para a adaptação das plantas à restrição de água. No entanto, quando o estresse se torna mais intenso ou prolongado, essas respostas podem não ser suficientes para impedir reduções no crescimento e na produtividade da cultura.

Os estudos revisados também mostraram que a redução dos impactos da limitação hídrica depende da combinação de diferentes práticas de manejo. O uso racional da irrigação, a conservação da umidade do solo, a utilização de bioinsumos e a seleção de materiais mais tolerantes têm apresentado resultados positivos, sobretudo em regiões onde a disponibilidade de água representa uma

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/06/2026 - **Accepted:** 05/08/2026
Vol: 13.18 - August
DOI: 10.66104/7yb18x50
Pages: 1-30

limitação para a produção agrícola.

De modo geral, o conhecimento produzido nos últimos anos ampliou a compreensão sobre a resposta da abobrinha ao déficit hídrico e forneceram informações importantes para o manejo da cultura em ambientes semiáridos. A aplicação desse conhecimento pode contribuir para sistemas de produção mais eficientes e melhor adaptados às condições de restrição hídrica características dessas regiões.

5. Referências

ABD EL-MAGEED, Taia A.; SEMIDA, Wael M.; RADY, Mostafa M. Moringa leaf extract as biostimulant improves water use efficiency, physio-biochemical attributes of squash plants under deficit irrigation. Agricultural Water Management, v. 193, p. 46–54, 1 nov. 2017.

AL-BAJALAN, Kurdo; KKA, Noura. Impact of Water Deficit on Growth and Seed Quality of Cucurbita pepo L. under Separate Selenium and Calcium Applications. Passer Journal of Basic and Applied Sciences, v. 7, n. 2, p. 574–585, 1 dez. 2025.

ALZOHEIRY, A. M.; AL-MOSHILEH, A. M. Effect of Irrigation Systems and Mulching on Summer Squash (Cucurbita pepo L.) Production in Semi-Arid AreasJ. Soil Sci. and Agric. Eng., Mansoura Univ. *[S.l.: S.n.]*.

AZAB, Enas S. *et al.* Physiological, Anatomical, and Agronomic Responses of Cucurbita pepo to Exogenously Sprayed Potassium Silicate at Different Concentrations under Varying Water Regimes. Agronomy, v. 12, n. 9, 1 set. 2022.

AZEVEDO, Benito M. *et al.* Irrigation depths and yield response factor in zucchini cultivation. Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental, v. 22, n. 6, p. 401–406, 1 jun. 2018.

BIAREH, Vahideh *et al.* Physiological and Qualitative Response of Cucurbita pepo L. to Salicylic Acid under Controlled Water Stress Conditions. Horticulturae, v. 8, n. 1, 1 jan. 2022.

DANTAS, B. F., Angelotti, F., Aragão, C. A. Will increasing temperature and CO2 affect pumpkin early development in Brazilian semi-arid? Rev. Geama, Recife - 3 (2): 87-93. Abri-Jun, 2017.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/06/2026 - **Accepted:** 05/08/2026
Vol: 13.18 - August
DOI: 10.66104/7yb18x50
Pages: 1-30

FILGUEIRA, F. A. R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3. ed. rev. ampl. Viçosa, MG: UFV, 2013. 421 p. ISBN 978-85-7269-313-4

IGLESIAS-MOYA, Jessica *et al.* A novel ABA insensitive mutant reveals the role of clade H CpPP2C-H1A of Cucurbita pepo in seed germination, stomata closure and water stress tolerance. Plant Physiology and Biochemistry, v. 229, 1 dez. 2025.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. DOI: 10.1017/9781009157896.

LACERDA, C. N., Laurentino, L. G. de S., Bonou, S. I., de Oliveira, R. C., da Silva, F. A., Do Nascimento, R., de Lima, R. F., & Bezerra, C. V. de C. (2024). Zucchini cultivation under salt stress and exogenous application of paclobutrazol. Revista Caatinga, 37. https://doi.org/10.1590/1983-21252024v3712001rc

MARTIM, Charles C. *et al.* Evapotranspiration and water response function of squash cv. 'Italiana' under different cultivation conditions. Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental, v. 22, n. 9, p. 640–647, 1 set. 2018.

MOUSAVIZADEH-FASHIAN, A.; RAHIMI, M. M.; HOSSEINIFARAHI, M. Alleviating the Adverse Effects of Drought Stress on Physiological Characters of Filed Pumpkin by Salicylic Acid and Selenium. Russian Journal of Plant Physiology, v. 71, n. 6, 1 dez. 2024.

MUNIR, Muhammad; IQBAL, Zafar; ALQAHTANI, Nashi K. BIOCHAR FROM DIFFERENT FEEDSTOCKS AS A SUSTAINABLE APPROACH TO ALLEVIATE WATER DEFICIT EFFECTS ON ZUCCHINI. Pakistan Journal of Botany, v. 56, n. 6, p. 2165–2178, 1 dez. 2024.

NCAMA, Khayelihle; SITHOLE, Nkanyiso J.; DADA, Oyeyemi A. Exploring the Potential of Using Fertilizers to Condition the Metabolism and Physiology of Dual-Yield Crops in a Water Deficit Environment: A Review. Agriculture (Switzerland) Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), 1 nov. 2024.

OZER, Selcuk; AHI, Yesim. CROP WATER STRESS ASSESMENT of DRIP IRRIGATED SUMMER SQUASH (CUCURBITA PEPO L.). Fresenius Environmental Bulletin, Ankara, v. 29, p. 1-8, 2020.

PAGE, M. J. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ, v. 372, n. 71, 2021.

ROUINI, Nesrine *et al.* High-shade dryland agrivoltaic conditions enhanced carbon uptake and water-use efficiency in zucchini (Cucurbita pepo). Frontiers in Sustainable Food Systems, v. 9, 2025.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 20/06/2026 - **Accepted:** 05/08/2026
Vol: 13.18 - August
DOI: 10.66104/7yb18x50
Pages: 1-30

SAFAHANI LANGEROODI, Ali Reza *et al.* Can biochar improve pumpkin productivity and its physiological characteristics under reduced irrigation regimes? Scientia Horticulturae, v. 247, p. 195–204, 15 mar. 2019.

SALIM, B. B. M. *et al.* Impact of silicon foliar application in enhancing antioxidants, growth, flowering and yield of squash plants under deficit irrigation condition. Annals of Agricultural Sciences, v. 66, n. 2, p. 176–183, 1 dez. 2021.

SEYMEN, Musa *et al.* Evaluation of seed yield, oil and mineral contents inbred pumpkin lines (Cucurbita pepo L.) under water stress. Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus, v. 19, n. 3, p. 89–99, 2020.

SEYMEN, Musa *et al.* IDENTIFICATION OF WATER STRESS-TOLERANT EDIBLE PUMPKIN SEED (Cucurbita pepo) GENOTYPES USING SEED YIELD-BASED TOLERANCE INDICES. Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus, v. 22, n. 4, p. 67–78, 2023.

SOUSA, Henderson C. *et al.* Gas exchange and growth of zucchini crop subjected to salt and water stress. Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental, v. 26, n. 11, p. 815–822, 2022.

SOUZA, Marcela Tavares de; SILVA, Michelly Dias da; CARVALHO, Rachel de. Revisão integrativa: o que é e como fazer. Einstein, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 102–106, 2010.

UCAK, Ali Beyhan *et al.* THE EFFECTS OF HIGH TEMPERATURE AND LOW HUMIDITY ON CROP WATER STRESS INDEX OF SEED PUMPKIN PLANTS (Cucurbita pepo L.) IN SEMI-ARID CLIMATE CONDITIONS. Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus, v. 23, n. 1, p. 63–73, 2024.

UNLUKARA, Ali; YETİŞİR, Halit; CEBECİ, İlknur. Rainwater harvesting with polyethylene film covered ridges for pumpkin (Cucurbita pepo L.) seed production under semiarid conditions. Tarım Bilimleri Dergisi, 4 set. 2021.

XU, Ke; WANG, Ping. CpWRKY51 enhances drought and salt resistance in Cucurbita pepo via activating CpPYL2-mediated PYL-PP2C-SnRK2 pathway. Journal of Plant Physiology, v. 315, 1 dez. 2025.

YILDIRIM, Ertan *et al.* Improved water productivity in summer squash under water deficit with PGPR and synthetic methyl amine applications. Rhizosphere, v. 20, 1 dez. 2021.